

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/FR05/000803

International filing date: 01 April 2005 (01.04.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: FR  
Number: 0450665  
Filing date: 02 April 2004 (02.04.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 27 June 2005 (27.06.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse



# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

### COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 11 AVR. 2005

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIETE  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint-Petersbourg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr





# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

26bis, rue de Saint-Pétersbourg  
75800 Paris Cédex 08  
Téléphone: 01.53.04.53.04 Télécopie: 01.42.94.86.54

Code de la propriété intellectuelle-livreVI

## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

DATE DE REMISE DES PIÈCES: N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL: DÉPARTEMENT DE DÉPÔT: DATE DE DÉPÔT:	Sylvain CHAFFRAIX COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL 5, rue Noël Pons 92734 NANTERRE CEDEX France
Vos références pour ce dossier: F°105296/RV/OFF/TPM	

<b>1 NATURE DE LA DEMANDE</b>		
Demande de brevet		
<b>2 TITRE DE L'INVENTION</b>		
FIBRE OPTIQUE A TROUS		
<b>3 DECLARATION DE PRIORITE OU REQUETE DU BENEFICE DE LA DATE DE DEPOT D'UNE DEMANDE ANTERIEURE FRANCAISE</b>	Pays ou organisation	Date
		N°
<b>4-1 DEMANDEUR</b>		
Nom Rue Code postal et ville Pays Nationalité Forme juridique N° SIREN	ALCATEL 54, rue La Boétie 75008 PARIS France France Société anonyme 542 019 096	
<b>5A MANDATAIRE</b>		
Nom Prénom Qualité Cabinet ou Société Rue Code postal et ville N° de téléphone N° de télécopie	CHAFFRAIX Sylvain CPI, Pouvoir général: PG 9222 COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL 5, rue Noël Pons 92734 NANTERRE CEDEX 0146524452 0146524396	
<b>6 DOCUMENTS ET FICHIERS JOINTS</b>		
Texte du brevet Dessins Désignation d'inventeurs Pouvoir général	Fichier électronique textebrevet.pdf dessins.pdf	Pages 18 6
		Détails D 11, R 6, AB 1 page 6, figures 10, Abrégé: page 6, Fig.10

<b>7 MODE DE PAIEMENT</b>				
Mode de paiement	Prélèvement du compte courant			
Numéro du compte client	051			
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>				
Etablissement immédiat				
<b>9 REDEVANCES JOINTES</b>				
	Devise	Taux	Quantité	Montant à payer
062 Dépôt	EURO	0.00	1.00	0.00
063 Rapport de recherche (R.R.)	EURO	320.00	1.00	320.00
068 Revendication à partir de la 11ème	EURO	15.00	21.00	315.00
Total à acquitter	EURO			635.00

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.  
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

Signé par

Signataire: FR, Compagnie Financière Alcatel, S.Chaffraix  
Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

Fonction

Mandataire agréé (Mandataire 1)



## BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITE

### Réception électronique d'une soumission

Il est certifié par la présente qu'une demande de brevet (ou de certificat d'utilité) a été reçue par le biais du dépôt électronique sécurisé de l'INPI. Après réception, un numéro d'enregistrement et une date de réception ont été attribués automatiquement.

Demande de brevet :

Demande de CU :

<b>DATE DE RECEPTION</b>	2 avril 2004	<b>Dépôt en ligne: X</b> <b>Dépôt sur support CD:</b>
<b>TYPE DE DEPOT</b>	INPI (PARIS) - Dépôt électronique	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUE PAR L'INPI</b>	0450665	
<b>Vos références pour ce dossier</b>	F°105296/RV/OFF/TPM	

#### DEMANDEUR

Nom ou dénomination sociale	ALCATEL
Nombre de demandeur(s)	1
Pays	FR

#### TITRE DE L'INVENTION

FIBRE OPTIQUE A TROUS

#### DOCUMENTS ENVOYES

package-data.xml	Requetefr.PDF	fee-sheet.xml
Design.PDF	ValidLog.PDF	textebrevet.pdf
FR-office-specific-info.xml	application-body.xml	request.xml
dessins.pdf	indication-bio-deposit.xml	

#### EFFECTUE PAR

Effectué par:	S.Chaffraix
Date et heure de réception électronique:	2 avril 2004 15:20:34
Empreinte officielle du dépôt	63:66:17:BB:12:0D:DE:94:33:5F:B7:B3:49:22:42:47:9E:87:98:F0

/ INPI PARIS, Section Dépôt /

SIEGE SOCIAL  
 INSTITUT 26 bis, rue de Saint Petersbourg  
 NATIONAL DE 75800 PARIS cedex 08  
 LA PROPRIETE Téléphone : 01 53 04 53 04  
 INDUSTRIELLE Télécopie : 01 42 93 59 30

## FIBRE OPTIQUE A TROUS

L'invention concerne le domaine des fibres optiques présentant des cavités dans leur structure, ces fibres optiques étant plus communément appelées fibres 5 optiques « à trous ». Un des intérêts majeurs des fibres optiques à trous est la présence de cavités dont l'indice très bas permet de diminuer de manière importante l'indice moyen des régions annulaires de la gaine comportant ces cavités.

Pour la réalisation de certaines fonctions non linéaires, les fibres optiques 10 à trous représentent la famille de fibres optiques la plus intéressante. Un certain type de fibres optiques à trous comporte deux couches de cavités, une couche plus proche du centre de la fibre optique et comprenant surtout des cavités de taille relativement petite ou même pas de cavités du tout, cette couche interne ayant pour fonction principale d'influer sur les propriétés de la fibre optique, à savoir 15 notamment la surface effective et la dispersion chromatique, et une couche plus éloignée du centre de la fibre optique comprenant des cavités de taille relativement grande, cette couche externe ayant pour fonction principale le confinement des modes à l'intérieur de la fibre optique.

Un des problèmes majeurs des fibres optiques à trous est le niveau élevé 20 de pertes par fuite de modes, lequel nécessite, pour être plus ou moins bien résolu, la réalisation de structures complexes et volumineuses, comprenant notamment un grand nombre de cavités assez espacées les unes des autres, ce qui amène un encombrement global qui devient rapidement important. En effet, il est connu que le niveau de pertes par fuite de mode sera d'autant plus faible que 25 la largeur de l'ensemble des couches comprenant les cavités sera importante. Par ailleurs, une taille unique de cavités dans la couche externe est généralement considérée comme suffisante.

Des exemples de ce type de structure peuvent être trouvés dans les documents de l'art antérieur, parmi lesquels citons :

- des brevets et demandes de brevet : US 2003/0012535 ; US 2002/0061176 ; US 2001/0031118 ; EP 1118887 ; EP 0810453 ; WO 03/019257 ; WO 02/084350 ; WO 01/98819 ; US 6539155 ;

5 - des publications : « Dispersion flattened hybrid-core non linear photonic crystal fiber » par K.P. Hansen, dans Opt. Express 11, pages 1503-1509, en 2003 ; « Chromatic dispersion control in photonic crystal fibers : application to ultra-flattened dispersion » par K. Saitoh, M. Koshiba, T. Hasegawa, et E. Sasaoka, dans Opt. Express 11, pages 843-852, en 2003.

10 L'invention est aux antipodes de cette technique de l'art antérieur. L'invention vise une structure moins encombrante mais plus serrée de manière à présenter un degré élevé de confinement des modes dans la fibre optique. Au moins deux tailles différentes de cavités judicieusement disposées les unes par rapport aux autres sont utilisées dans la couche externe de manière à pouvoir coopérer entre elles de façon à augmenter encore le degré de confinement tout en maintenant un encombrement raisonnable. Il s'agit d'obtenir un faible niveau 15 de pertes de confinement, c'est-à-dire par fuite de modes, pour un nombre restreint de cavités, c'est-à-dire de l'ordre de quelques dizaines de cavités seulement, typiquement moins de cinquante cavités.

20 Selon l'invention, il est prévu une fibre optique comprenant : un cœur central ; une première région annulaire entourant le cœur central ; une deuxième région annulaire entourant la première région annulaire et comprenant des cavités de moyenne taille dont la section transversale reste strictement comprise entre un premier seuil donné et un deuxième seuil donné strictement supérieur au premier seuil ; une troisième région annulaire entourant la deuxième région 25 annulaire et comprenant des cavités de grande taille dont la section transversale reste strictement supérieure au deuxième seuil ; caractérisée en ce que, dans une section transversale de la fibre optique, : d'une part, tout rayon qui va du centre du cœur vers l'extérieur de la fibre optique rencontre au moins, soit une cavité de moyenne taille appartenant à la deuxième région annulaire, soit une cavité de 30 grande taille appartenant à la troisième région annulaire ; et d'autre part, la

distance moyenne entre le périmètre extérieur de la deuxième région annulaire et le périmètre intérieur de la troisième région annulaire est inférieure à la moitié de la dimension moyenne d'une cavité de grande taille. Il est important que la structure des cavités ne présente pas de chemin de silice vers l'extérieur par lequel 5 le mode pourrait quitter le centre de la fibre optique ; c'est pourquoi, la distribution serrée et régulière selon l'invention, c'est-à-dire sans « couloir de silice », c'est-à-dire sans endroit ne comportant pas ou seulement peu de cavités, est particulièrement intéressante. De préférence, dans une section transversale de 10 la fibre optique, la distance moyenne entre le périmètre extérieur de la deuxième région annulaire et le périmètre intérieur de la troisième région annulaire est inférieure au quart de la dimension moyenne d'une cavité de grande taille.

Selon un autre objet de l'invention, pour une application de la fibre optique consistant à réaliser une fonction non linéaire à l'aide de la fibre optique, il est aussi prévu une fibre optique comprenant : un cœur central (1) ; une gaine 15 ( $r_b$  et  $r_c$ ) entourant le cœur central (1) et comprenant des cavités (3, 4) ; et présentant, entre 1530nm et 1570nm : une surface effective inférieure ou égale à  $10\mu\text{m}^2$  ; une dispersion chromatique inférieure, en valeur absolue, à 3 ps/nm.km ; caractérisée en ce que la gaine de la fibre optique comprend moins de 70 cavités 20 disposées de manière à ce que l'atténuation globale de la fibre optique reste inférieure à 10dB/km. La gaine de la fibre optique comprend de préférence moins de 50 cavités.

L'invention sera mieux comprise et d'autres particularités et avantages apparaîtront à l'aide de la description ci-après et des dessins joints, donnés à titre 25 d'exemples, où :

- la figure 1 représente schématiquement la section d'un exemple de fibre optique à trous selon l'invention ;
- la figure 2 représente schématiquement à la fois les courbes de dispersion chromatique et de pente de dispersion chromatique en fonction de la 30 longueur d'onde pour la fibre optique de la figure 1 ;

- la figure 3 représente schématiquement la courbe de la surface effective en fonction de la longueur d'onde pour la fibre optique de la figure 1 ;
- les figures 4 et 5 représentent schématiquement la section de deux autres exemples de fibre optique à trous selon l'invention ;
- 5 - la figure 6 représente schématiquement la section d'un exemple de fibre optique à trous à maintien de polarisation selon l'invention ;
- la figure 7 représente schématiquement la section d'un exemple de fibre optique dopée à trous selon l'invention ;
- 10 - la figure 8 représente schématiquement la section d'un autre exemple de fibre optique à trous à maintien de polarisation selon l'invention ;
- la figure 9 représente schématiquement la section d'un autre exemple particulièrement avantageux de fibre optique à trous selon l'invention ;
- la figure 10 représente schématiquement la courbe de dispersion chromatique en fonction de la longueur d'onde pour la fibre optique de la figure 15 9.

De préférence, afin d'améliorer le compromis entre le confinement de mode dans la structure de la fibre optique et l'encombrement de la structure de la fibre optique, parmi les cavités de grande taille appartenant à la troisième région annulaire, au moins 10 cavités de grande taille sont situées sur une même couche annulaire et présentent chacune un rapport entre d'une part leur plus grande dimension et d'autre part la distance du centre de la cavité au centre du cœur qui est supérieur à 0.3. L'espace situé entre deux cavités de grande taille, qui sont contiguës et qui appartiennent à la troisième région annulaire, est avantageusement inférieur à la longueur d'onde d'utilisation de la fibre optique, ce qui améliore encore le confinement de mode dans la fibre optique.

De préférence, encore afin d'améliorer le compromis entre le confinement de mode dans la structure de la fibre optique et l'encombrement de la structure de la fibre optique, parmi les cavités de moyenne taille appartenant à la deuxième région annulaire, au moins 10 cavités de moyenne taille sont d'une part situées

sur une même couche annulaire et d'autre part angulairement décalées par rapport aux cavités de grande taille de manière être situées en regard des espaces existant entre cavités de grande taille.

De préférence, la première région annulaire comprend des cavités de petite taille dont la section transversale reste strictement inférieure au premier seuil. Ces cavités de petite taille ont une fonction de modulation de certaines propriétés de la fibre optique comme la surface effective ou la dispersion chromatique par exemple. Dans une section transversale de la fibre optique, tout rayon qui va du centre du cœur vers l'extérieur de la fibre optique, lorsqu'il balaye angulairement un secteur angulaire entre deux cavités de moyenne taille appartenant à la deuxième région annulaire, rencontre préférentiellement au moins, une cavité appartenant soit à la deuxième région annulaire soit à la première région annulaire, sur au moins une partie du secteur angulaire balayé. Par exemple, entre deux cavités contiguës de moyenne taille, se trouve une cavité de petite taille. Cette cavité de petite taille n'a pas besoin de couvrir angulairement tout l'espace situé entre les deux cavités de moyenne taille, car c'est la position plus que la taille des cavités de petite taille qui leur permet de coopérer avec les autres cavités de moyenne et de grande taille de façon à améliorer le confinement de mode dans la fibre optique. De manière préférentielle, afin d'augmenter le confinement de mode tout en maintenant un encombrement raisonnable, la distance moyenne entre le périmètre extérieur de la première région annulaire et le périmètre intérieur de la deuxième région annulaire est inférieure à la moitié de la dimension moyenne d'une cavité de moyenne taille.

Dans un mode de réalisation préférentiel, d'une part la deuxième région annulaire et la troisième région annulaire sont circulaires, leur maille étant alors circulaire, et d'autre part la première région annulaire est hexagonale, sa maille étant alors triangulaire. Ce qui permet une fabrication plus simple de la préforme dont sera issue par fibrage la fibre optique à trous selon l'invention. Cette disposition permet d'augmenter la densité de cavité au détriment de la densité de

silice, ce qui diminue l'indice équivalent et participe au confinement de mode dans la fibre optique tout en réduisant encore l'encombrement.

De préférence, la troisième région annulaire ne comporte qu'une seule couche de cavités qui sont de grande taille. La deuxième région annulaire ne 5 comporte avantageusement qu'une seule couche de cavités qui sont de moyenne taille. Toutefois, ces régions annulaires peuvent aussi comporter plusieurs couches de cavités ou inclure des cavités de taille différente entre elles.

La fibre optique à trous selon l'invention est de préférence une fibre optique monomode, à la longueur d'onde d'utilisation. Pour cela, la plus grande 10 dimension de l'ensemble de la structure de la fibre optique, c'est-à-dire dans le cas d'une répartition circulaire, le diamètre externe de la troisième région annulaire, est limitée. Le diamètre externe maximal admissible pour conserver à la fibre optique son caractère monomode dépend de la structure précise de la fibre optique à trous, c'est-à-dire notamment de la taille et de la disposition des cavités. 15 De préférence, la plus grande dimension de l'ensemble de la structure de la fibre optique est inférieure à  $30\mu\text{m}$ . La plus grande dimension de l'ensemble de la structure de la fibre optique est avantageusement inférieure à  $25\mu\text{m}$  et plus avantageusement encore inférieure à  $20\mu\text{m}$ .

La fibre optique à trous selon l'invention présente avantageusement une 20 surface effective faible de manière à augmenter les effets non linéaires dont le cœur central de la fibre optique est le siège et par là accentuer une fonction non linéaire que pourrait remplir la fibre optique à trous. De préférence, dans la première région annulaire, des cavités sont disposées de manière à ce que la surface effective de la fibre optique soit inférieure à  $10\mu\text{m}^2$ . Dans la première 25 région annulaire, des cavités sont disposées de manière à ce que la surface effective de la fibre optique soit avantageusement inférieure à  $5\mu\text{m}^2$ .

De manière à ce que ladite fonction non linéaire soit le plus uniforme possible sur une bande spectrale donnée, la dispersion chromatique est choisi la plus faible possible et la plus uniforme possible sur ladite bande spectrale. La 30 bande C allant de  $1530\text{nm}$  à  $1570\text{nm}$  est une bande préférentielle d'utilisation.

Par conséquent, de préférence, dans la première région annulaire, des cavités sont disposées de manière à ce que la dispersion chromatique de la fibre optique entre 1530nm et 1570nm, voire entre 1500nm et 1625nm, reste inférieure, en valeur absolue, à 3 ps/nm-km, voire inférieure, en valeur absolue, à 1 ps/nm-km.

5 Dans la première région annulaire, des cavités sont disposées de manière à ce qu'une longueur d'onde de dispersion nulle soit avantageusement comprise entre 1530nm et 1570nm.

Des exemples de fonction, notamment non linéaire, que peut remplir une fibre optique à trous selon l'invention vont maintenant être donnés.

10 Par exemple, dans la première région annulaire, des cavités sont disposées de manière à ce que la répartition des cavités dans la première région annulaire présente au plus deux symétries axiales. Ainsi, la fibre optique peut remplir une fonction de maintien de polarisation.

15 Lorsque le cœur de la fibre optique à trous selon l'invention est dopé avec une terre rare, la fibre optique à trous selon l'invention peut être utilisée pour réaliser une cavité laser ou bien un dispositif d'amplification.

20 Lorsque le cœur de la fibre optique à trous selon l'invention est dopé avec un élément ou plusieurs éléments parmi le Germanium, le phosphore, le plomb, le bismuth, le lithium ou le niobium, la fibre optique à trous selon l'invention peut être utilisée pour réaliser un dispositif d'amplification Raman.

La fibre optique à trous selon l'invention peut aussi être utilisée pour réaliser un dispositif de conversion en longueur d'onde, un dispositif de démultiplexage en longueur d'onde, un dispositif de régénération optique de signal optique, ou un dispositif de filtrage optique incluant un absorbant saturable.

25 Des exemples de fibres optiques à trous selon l'invention ainsi que certaines de leurs propriétés vont maintenant être présentées en relation avec les figures. De manière générale, sur les figures 1 et 4 à 9, la section droite de fibre optique représentée présente un cœur 1, une première région annulaire comprenant au moins des cavités 2 de petite taille, une deuxième région annulaire comprenant au moins des cavités 3 de moyenne taille, une troisième

région annulaire comprenant au moins des cavités 4 de grande taille. Les régions annulaires peuvent aussi comporter une certaine quantité, généralement une minorité, de cavités d'une taille distincte de celle de la majorité des cavités de ladite région annulaire. Le périmètre extérieur d'une région annulaire est le cercle circonscrit à l'extérieur de l'ensemble des cavités de ladite région annulaire. Le périmètre intérieur d'une région annulaire est le cercle inscrit à l'intérieur de l'ensemble des cavités de ladite région annulaire. Lorsque la répartition des cavités n'est pas circulaire, par exemple lorsque c'est un hexagone, le périmètre sera l'hexagone circonscrit ou inscrit correspondant, et de la même manière pour toute autre forme. Sur l'ensemble des figures, la différence entre le périmètre intérieur de la troisième région annulaire comprenant les cavités de grande taille et le périmètre extérieur de la deuxième région annulaire comprenant les cavités de moyenne taille est inférieure au quart du diamètre moyen d'une cavité de grande taille. Lorsqu'une cavité est circulaire, sa dimension moyenne est son diamètre ; lorsqu'une cavité moyenne n'est pas circulaire, sa dimension moyenne est le diamètre qu'aurait un disque de même surface, étant donné que l'on s'est placé dans une section droite de la fibre optique. Sur les figures, les sections de fibre optique présentent des cavités parfaitement circulaires, ce qui n'est pas le cas dans la pratique où les cavités peuvent être déformées.

La fibre optique de la figure 1 présente un cœur 1 non dopé, une première région annulaire  $ra$  comprenant trois couches hexagonales de six cavités 2 de petite taille, une deuxième région annulaire  $rb$  constituée d'une couche circulaire de douze cavités 3 de moyenne taille, une troisième région annulaire  $rc$  constituée d'une couche circulaire de douze cavités 4 de grande taille. Toutes les cavités 2 de petite taille ont la même taille. Entre deux cavités 4 de grande taille se trouve un espace  $e$ .  $Ca$  est le cercle circonscrit à l'extérieur des cavités 3 de moyenne taille constituant la deuxième région annulaire.  $Cb$  est le cercle inscrit à l'intérieur des cavités 4 de grande taille constituant la troisième région annulaire.  $Cc$  est le cercle circonscrit à l'extérieur des cavités 4 de grande taille constituant la troisième région annulaire. Pour des raisons de clarté de la figure T, seules des

portions des cercles Ca, Cb et Cc sont représentés. La plus grande dimension de l'ensemble de la structure de la fibre optique est le diamètre extérieur de la couronne des cavités 4 de grande taille lequel est noté  $\Phi_{ext}$ .

La figure 2 représente schématiquement à la fois les courbes f de dispersion chromatique C exprimée en ps/nm.km et g de pente de dispersion chromatique C' exprimée en ps/nm<sup>2</sup>.km en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  exprimée en nm pour la fibre optique de la figure 1. La dispersion chromatique reste inférieure en valeur absolue à 3 ps/nm.km sur l'ensemble de bandes spectrales s'étendant de 1400nm à 1650nm. La pente de dispersion chromatique reste inférieure en valeur absolue à 0.01 ps/nm<sup>2</sup>.km sur l'ensemble de bandes spectrales s'étendant de 1400nm à 1650nm.

La figure 3 représente schématiquement la courbe f de la surface effective Seff exprimée en  $\mu\text{m}^2$  en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  exprimée en nm pour la fibre optique de la figure 1. La surface effective reste comprise entre 5 $\mu\text{m}^2$  et 15 6.5 $\mu\text{m}^2$  sur l'ensemble de bandes spectrales s'étendant de 1400nm à 1650nm.

La fibre optique de la figure 4 présente un cœur 1 non dopé, une première région annulaire comprenant deux couches hexagonales de six cavités 2 de petite taille et une couche hexagonale de six cavités 2 de moyenne taille, une couche circulaire de douze cavités 3 de moyenne taille, une couche circulaire de douze cavités 4 de grande taille. Les cavités 2 de petite taille se répartissent entre deux tailles différentes.

La fibre optique de la figure 5 présente un cœur 1 non dopé, une première région annulaire comprenant trois couches hexagonales de six cavités 2 de petite taille, une couche circulaire de douze cavités 3 de moyenne taille, une couche circulaire de douze cavités 4 de grande taille. Les cavités 2 de petite taille se répartissent entre trois tailles différentes.

La fibre optique de la figure 6 présente un cœur 1 non dopé, une première région annulaire comprenant des cavités 2 de petite taille, une couche circulaire de douze cavités 3 de moyenne taille, une couche circulaire de douze 30 cavités 4 de grande taille. Les cavités 2 de petite taille se répartissent entre trois

tailles différentes et sont disposées de manière que la structure présente deux axes de symétrie seulement, ce qui rend cette structure intéressante pour la réalisation d'une fibre optique à maintien de polarisation.

La fibre optique de la figure 7 présente un cœur 1 dopé, une première 5 région annulaire comprenant trois couches hexagonales de six cavités 2 de petite taille, une couche circulaire de douze cavités 3 de moyenne taille, une couche circulaire de douze cavités 4 de grande taille. Les cavités 2 de petite taille se répartissent entre trois tailles différentes. Les autres structures présentées dans les autres figures pourraient également présenter un cœur 1 qui soit dopé.

10 La fibre optique de la figure 8 présente un cœur 1 non dopé, une première région annulaire comprenant des cavités 2 de petite taille, une couche circulaire de douze cavités 3 de moyenne taille, une couche circulaire de douze cavités 4 de grande taille. Les cavités 2 de petite taille se répartissent entre deux tailles différentes et présentent une disposition hexagonale. Le diamètre extérieur 15 de cette structure, vaut  $15.9\mu\text{m}$ . Cette fibre optique présente une biréfringence valant environ  $3.5 \cdot 10^{-3}$ . A une longueur d'onde de  $1550\text{nm}$ , cette fibre optique présente approximativement une dispersion chromatique nulle pour l'une des deux polarisations et une surface effective de  $3.6\mu\text{m}^2$ .

20 La fibre optique de la figure 9 présente un cœur 1 non dopé, une première région annulaire comprenant deux couches hexagonales, respectivement de six et de douze cavités 2 de petite taille, une couche circulaire de douze cavités 3 de moyenne taille, une couche circulaire de douze cavités 4 de grande taille. Les cavités 2 de petite taille se répartissent en deux tailles différentes. Le diamètre extérieur 25 de cette structure, vaut  $14.8\mu\text{m}$ . Cette fibre optique présente une dispersion chromatique comprise entre 0 et  $1 \text{ ps/nm.km}$  sur une plage de longueur d'onde s'étendant de  $1500\text{nm}$  à  $1650\text{nm}$ .

La figure 10 représente schématiquement la courbe de dispersion chromatique en fonction de la longueur d'onde pour la fibre optique de la figure 9. En ordonnée se trouve la dispersion chromatique  $C$  exprimée en  $\text{ps/nm.km}$  30 tandis qu'en abscisse se trouve la longueur d'onde  $\lambda$  exprimée en  $\text{nm}$ . La courbe f

de dispersion chromatique reste, entre 1500nm et 1650nm, inférieure, en valeur absolue, à 1 ps/nm.km.

**REVENDICATIONS****1. Fibre optique comprenant :**

- un cœur central (1) ;
- 5 - une première région annulaire (ra) entourant le cœur central (1) ;
- une deuxième région annulaire (rb) entourant la première région annulaire (ra) et comprenant des cavités (3) de moyenne taille dont la section transversale reste strictement comprise entre un premier seuil donné et un deuxième seuil donné strictement supérieur au premier seuil ;
- 10 - une troisième région annulaire (rc) entourant la deuxième région annulaire (rb) et comprenant des cavités (4) de grande taille dont la section transversale reste strictement supérieure au deuxième seuil ;
  - caractérisée en ce que, dans une section transversale de la fibre optique, :
    - d'une part, tout rayon qui va du centre du cœur vers l'extérieur de la fibre optique rencontre au moins, soit une cavité (3) de moyenne taille appartenant à la deuxième région annulaire (rb), soit une cavité (4) de grande taille appartenant à la troisième région annulaire (rc) ;
    - et d'autre part, la distance moyenne entre le périmètre extérieur (Ca) de la deuxième région annulaire (rb) et le périmètre intérieur (Cb) de la troisième région annulaire (rc) est inférieure à la moitié de la dimension moyenne d'une cavité (4) de grande taille.
- 20

- 2. Fibre optique selon la revendication 1, caractérisée en ce que, dans une section transversale de la fibre optique, la distance moyenne entre le périmètre extérieur (Ca) de la deuxième région annulaire (rb) et le périmètre intérieur (Cb) de la troisième région annulaire (rc) est inférieure au quart de la dimension moyenne d'une cavité (4) de grande taille.**

- 3. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la première région annulaire (ra) comprend des cavités (2)**

de petite taille dont la section transversale reste strictement inférieure au premier seuil.

4. Fibre optique selon la revendication 3, caractérisée en ce que, dans  
5 une section transversale de la fibre optique, tout rayon qui va du centre du cœur  
vers l'extérieur de la fibre optique, lorsqu'il balaye angulairement un secteur  
angulaire entre deux cavités (3) de moyenne taille appartenant à la deuxième  
région annulaire (rb), rencontre au moins, une cavité (2, 3) appartenant soit à la  
10 deuxième région annulaire (rb) soit à la première région annulaire (ra), sur au  
moins une partie du secteur angulaire balayé.

5. Fibre optique selon la revendication 4, caractérisée en ce que, dans  
une section transversale de la fibre optique, la distance moyenne entre le  
périmètre extérieur de la première région annulaire (ra) et le périmètre intérieur de  
15 la deuxième région annulaire (rb) est inférieure à la moitié de la dimension  
moyenne d'une cavité (3) de moyenne taille.

6. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
caractérisée en ce que, parmi les cavités (4) de grande taille appartenant à la  
20 troisième région annulaire (rc), au moins 10 cavités (4) de grande taille sont  
situées sur une même couche annulaire et présentent chacune un rapport entre  
d'une part leur plus grande dimension et d'autre part la distance du centre de la  
cavité (4) au centre du cœur qui est supérieur à 0.3.

25 7. Fibre optique selon la revendication 6, caractérisée en ce que, parmi  
les cavités (3) de moyenne taille appartenant à la deuxième région annulaire (rb),  
au moins 10 cavités (3) de moyenne taille sont d'une part situées sur une même  
couche annulaire et d'autre part angulairement décalées par rapport aux cavités  
(4) de grande taille de manière être situées en regard des espaces (e) existant  
30 entre cavités (4) de grande taille.

8. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'espace (e) situé entre deux cavités (4) de grande taille, qui sont contiguës et qui appartiennent à la troisième région annulaire (rc), est 5 inférieur à la longueur d'onde d'utilisation de la fibre optique.

9. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la deuxième région annulaire (rb) et la troisième région 10 annulaire (rc) sont circulaires et en ce que la première région annulaire (ra) est hexagonale.

10. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans une section transversale de la fibre optique, la plus grande dimension ( $\Phi_{ext}$ ) de l'ensemble de la structure de la fibre optique est 15 inférieure à  $30\mu\text{m}$ .

11. Fibre optique selon la revendication 10, caractérisée en ce que, dans une section transversale de la fibre optique, la plus grande dimension ( $\Phi_{ext}$ ) de l'ensemble de la structure de la fibre optique est inférieure à  $25\mu\text{m}$ .  
20

12. Fibre optique selon la revendication 11, caractérisée en ce que, dans une section transversale de la fibre optique, la plus grande dimension ( $\Phi_{ext}$ ) de l'ensemble de la structure de la fibre optique est inférieure à  $20\mu\text{m}$ .

25 13. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce que la surface effective de la fibre optique soit inférieure à  $10\mu\text{m}^2$ .

**14.** Fibre optique selon la revendication 13, caractérisée en ce que , dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce que la surface effective de la fibre optique soit inférieure à  $5\mu\text{m}^2$ .

5       **15.** Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce que la dispersion chromatique, entre 1530nm et 1570nm, de la fibre optique reste inférieure, en valeur absolue, à 3 ps/nm-km.

10       **16.** Fibre optique selon la revendication 15, caractérisée en ce que, dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce que la dispersion chromatique, entre 1500nm et 1625nm, de la fibre optique reste inférieure, en valeur absolue, à 3 ps/nm-km.

15       **17.** Fibre optique selon l'une quelconque des revendications 15 à 16, caractérisée en ce que, dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce que la dispersion chromatique à 1550nm de la fibre optique reste inférieure, en valeur absolue, à 1 ps/nm-km.

20       **18.** Fibre optique selon la revendication 17, caractérisée en ce que, dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce que la dispersion chromatique, entre 1500nm et 1625nm, de la fibre optique reste inférieure, en valeur absolue, à 1 ps/nm-km.

25       **19.** Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce qu'une longueur d'onde de dispersion nulle soit comprise entre 1530nm et 1570nm.

20. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans la première région annulaire (ra), des cavités (2) sont disposées de manière à ce que la répartition des cavités (2) dans la première région annulaire (ra) présente au plus deux symétries axiales.

5

21. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le cœur (1) est dopé avec une terre rare.

10

22. Cavité laser comprenant une fibre optique selon la revendication 19.

23. Amplificateur comprenant une fibre optique selon la revendication 19.

15

24. Fibre optique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le cœur est dopé avec un élément ou plusieurs éléments parmi le germanium, le phosphore, le plomb, le bismuth, le lithium ou le niobium.

20

25. Dispositif d'amplification Raman comprenant une fibre optique selon la revendication 24.

26. Dispositif de conversion en longueur d'onde comprenant une fibre optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 18.

27. Dispositif de démultiplexage en longueur d'onde comprenant une fibre optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 18.

25

28. Dispositif de régénération optique de signal optique comprenant une fibre optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 18.

30

29. Dispositif de filtrage optique incluant un absorbant saturable et comprenant une fibre optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 18.

**30.** Fibre optique comprenant :

- un cœur central (1) ;
- une gaine ( $r_b$  et  $r_c$ ) entourant le cœur central (1) et comprenant des 5 cavités (3, 4) ;

et présentant, entre 1530nm et 1570nm :

- une surface effective inférieure ou égale à  $10\mu\text{m}^2$  ;
- une dispersion chromatique inférieure, en valeur absolue, à 3 ps/nm.km ;

10 caractérisée en ce que la gaine de la fibre optique comprend moins de 70 cavités disposées de manière à ce que l'atténuation globale de la fibre optique reste inférieure à 10dB/km.

15 **31.** Fibre optique selon la revendication 30, caractérisée en ce que la gaine de la fibre optique comprend moins de 50 cavités.

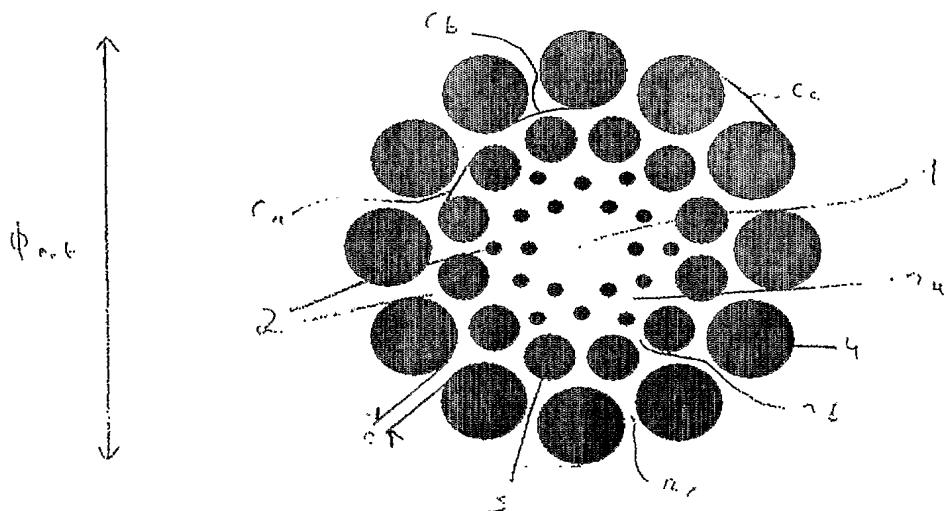


Fig. 1

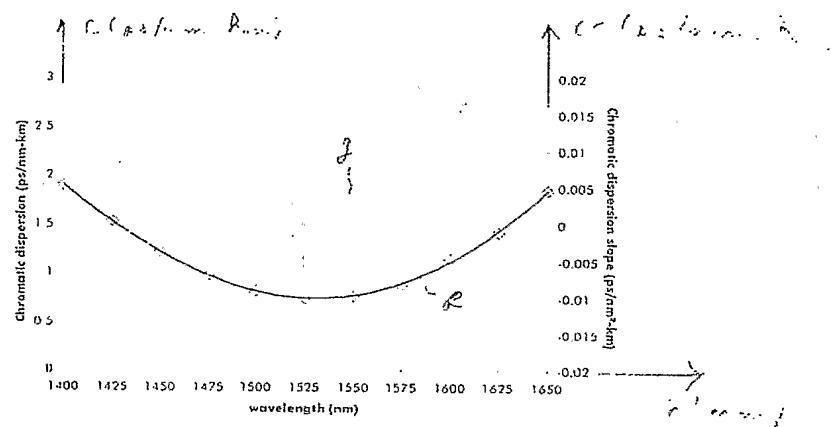
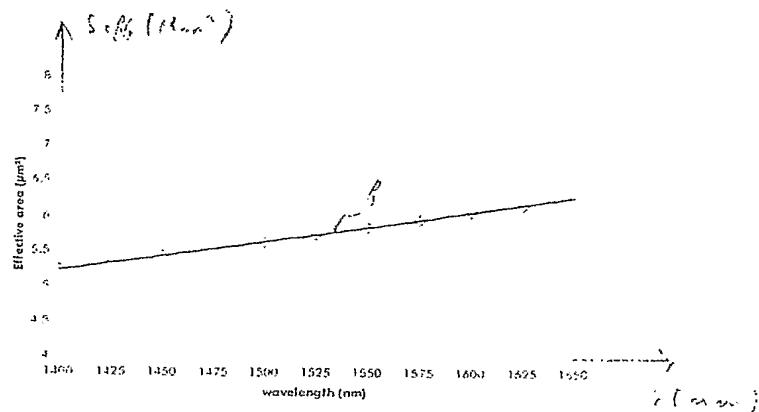


Fig. 2



- Fig. 3

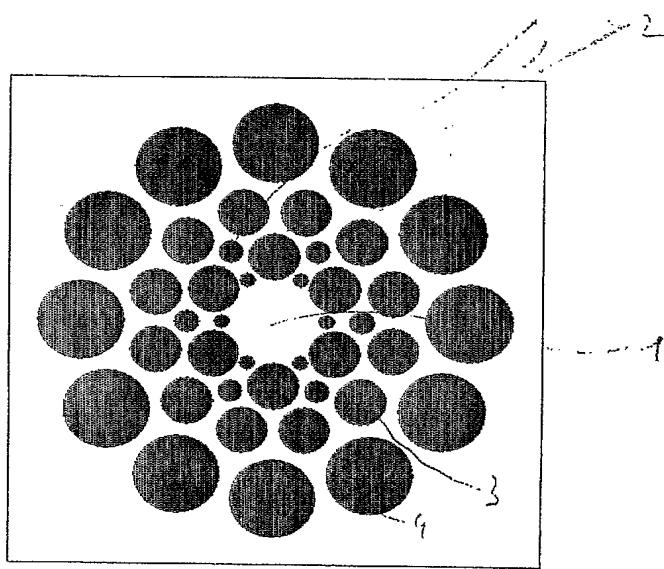


Fig. 4

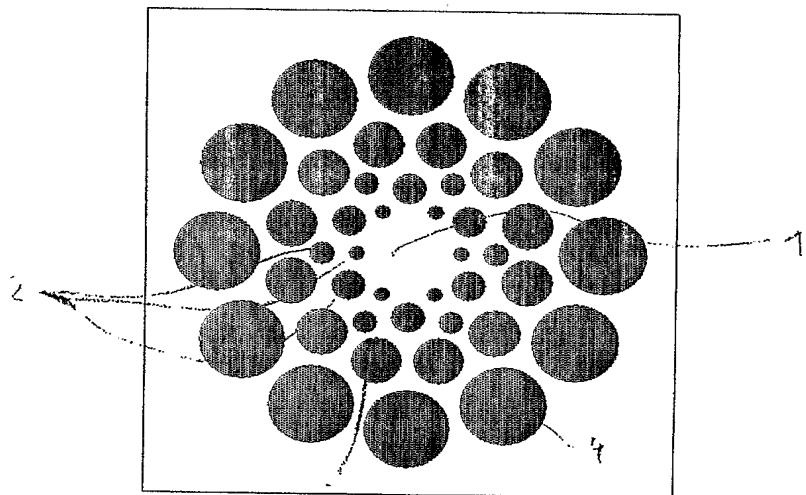


Fig. 5

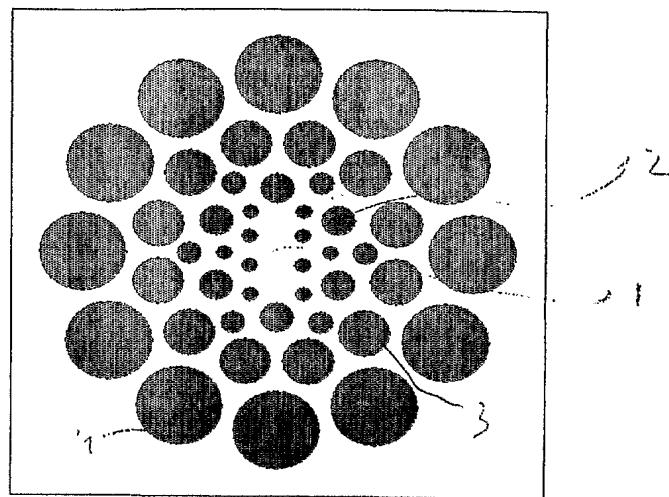


Fig. 6

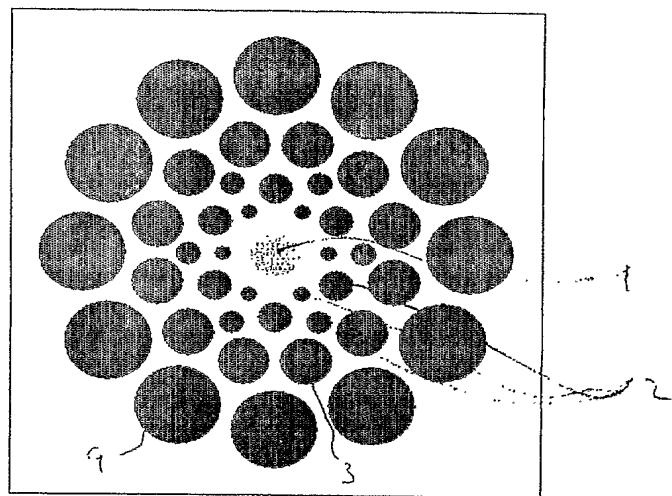


Fig. 7

1er dépôt

116

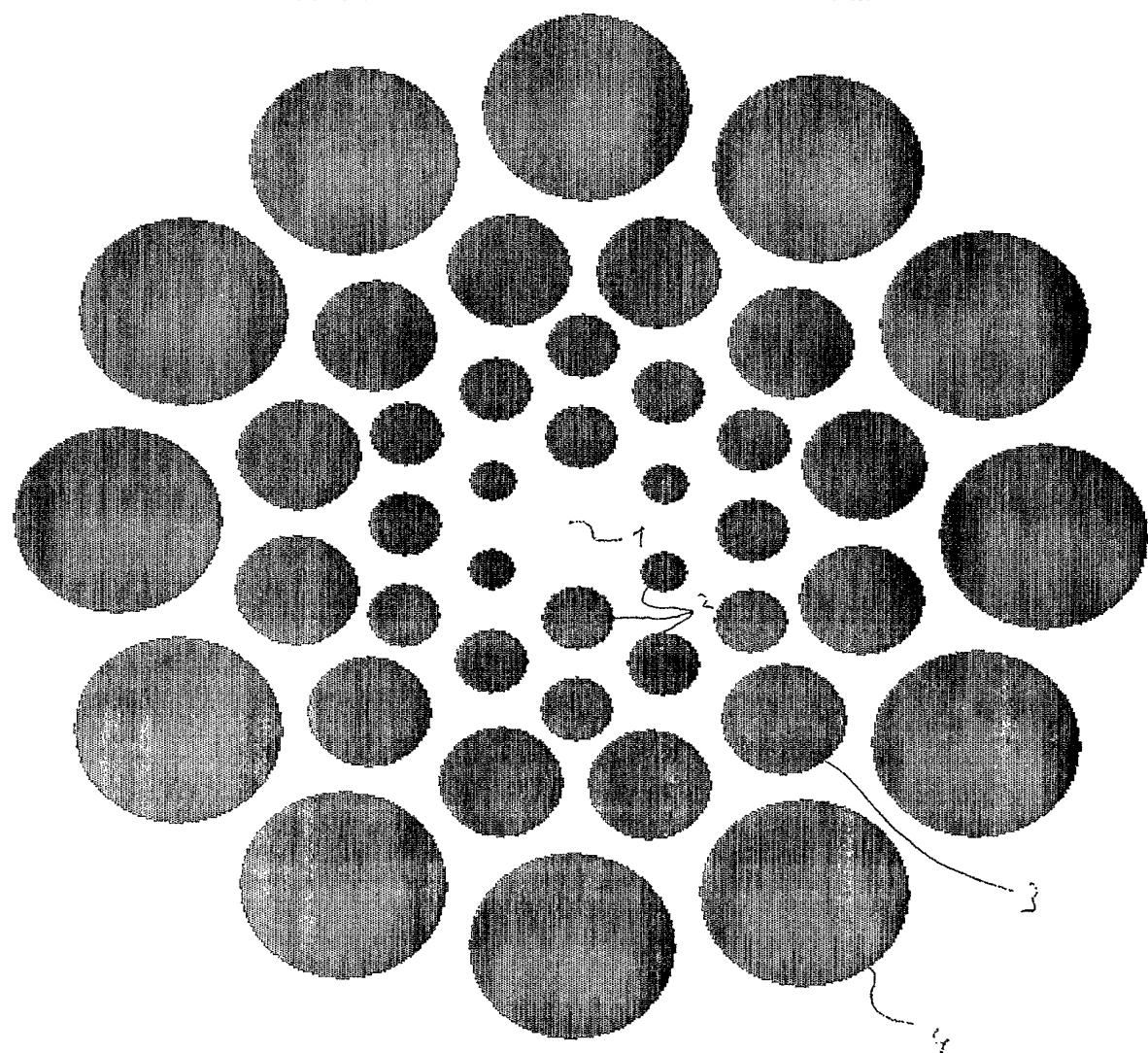


Fig 8

1er dépôt

516

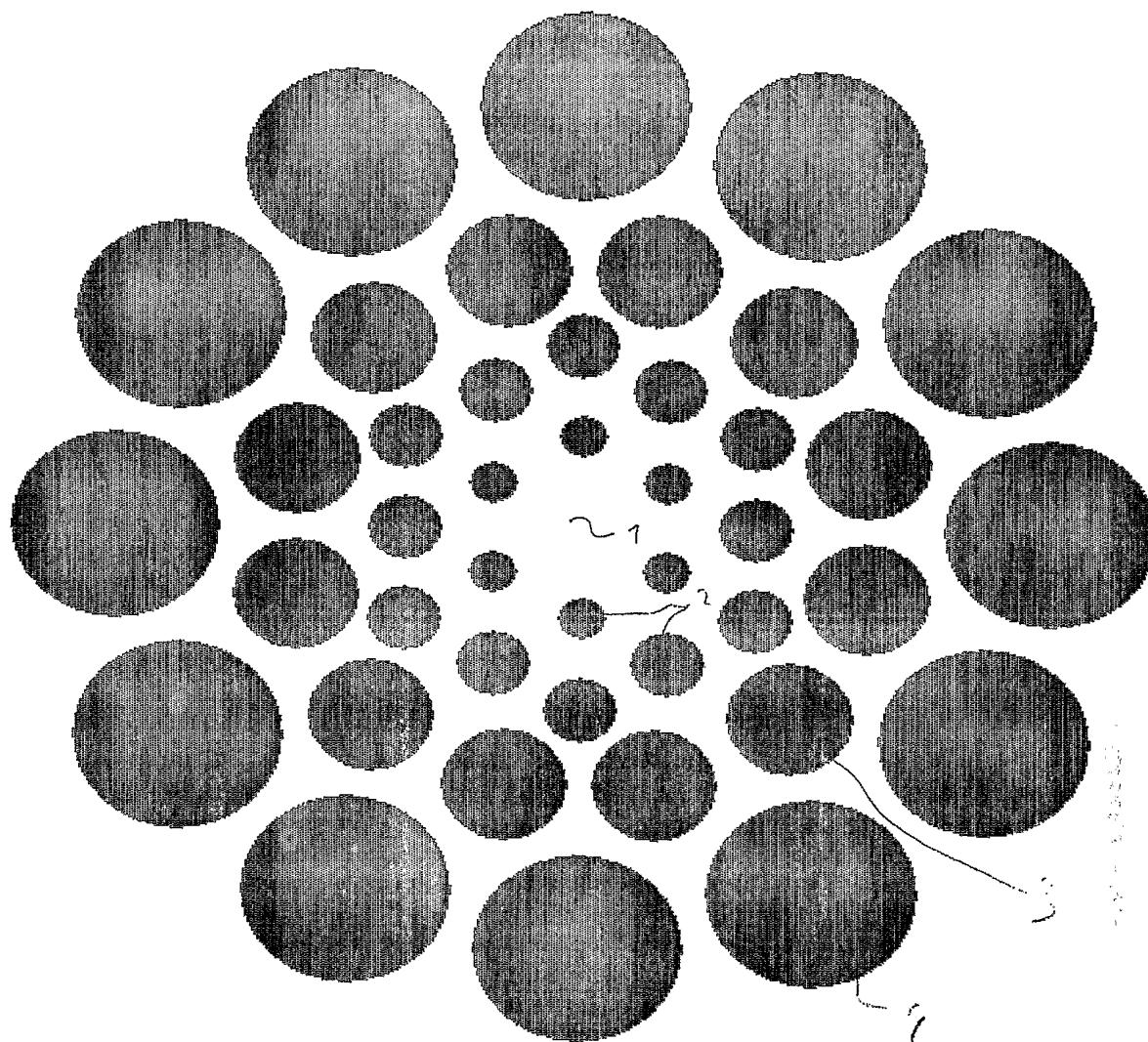


Fig 3

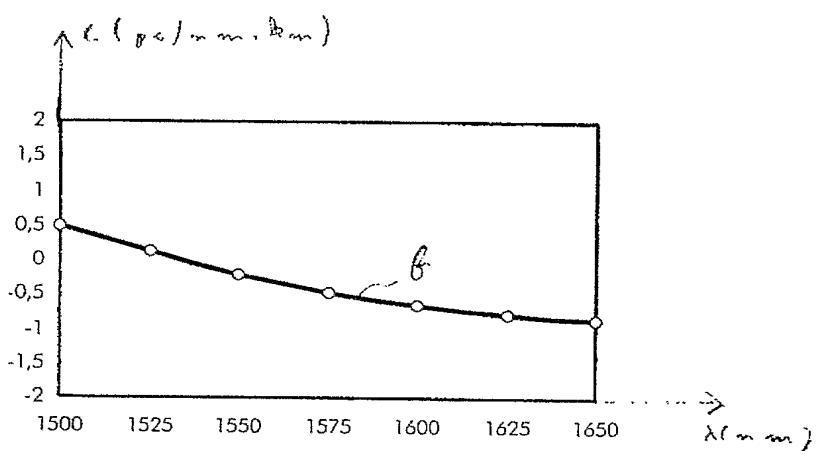


Fig. 10



## BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITE

### Désignation de l'inventeur

Vos références pour ce dossier	F°105296/RV/OFF/TPM
N°D'ENREGISTREMENT NATIONAL	
TITRE DE L'INVENTION	
FIBRE OPTIQUE A TROUS	
LE(S) DEMANDEUR(S) OU LE(S) MANDATAIRE(S):	
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S):	
Inventeur 1	
Nom	PROVOST
Prénoms	Lionel
Rue	54 Chemin du Moulin
Code postal et ville	91460 MARCOUSSIS
Société d'appartenance	
Inventeur 2	
Nom	MELIN
Prénoms	Gilles
Rue	43 rue Charles de Gaulle
Code postal et ville	91400 ORSAY
Société d'appartenance	
Inventeur 3	
Nom	GASCA
Prénoms	Laurent
Rue	9, avenue Georges Pompidou
Code postal et ville	91140 VILLEBON SUR YVETTE
Société d'appartenance	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.  
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

#### Signé par

Signataire: FR, Compagnie Financière Alcatel, S.Chaffraix

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

#### Fonction

Mandataire agréé (Mandataire 1)

